

FILM FORMATION METHOD

Patent Number: JP5102040
Publication date: 1993-04-23
Inventor(s): HORIIKE YASUHIRO; others: 01
Applicant(s): TOKYO ELECTRON LTD; others: 01
Requested Patent: ☐ JP5102040
Application Number: JP19910285533 19911007
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L21/205
EC Classification:
Equivalents: JP3149223B2

Abstract

PURPOSE:To form a dense film of high insulateness by making a treatment of irradiating a film with remaining organic substances with hydrogen atoms to remove the organic substances.
CONSTITUTION:A silicon semiconductor wafer 1 is overlaid with a conductive layer 2 made of aluminum to form a trench-structure surface. This trench structure is surfaced with a uniform silicon film by CVD using a material gas containing an organic silane gas. A mixture gas (TES/H) of TES and hydrogen atoms (H) is used as the material gas. A silicon film 4 is deposited by reaction of the material gas in the the trench-structure surface. However, this silicon film 4 has takeup of organic substances contained in the TES. Therefore, next this silicon film 4 is irradiated under a room temperature with hydrogen atoms developed by microwave discharge or the like, so that a treatment is made to remove organic substances in the silicon film 4. This process enables removal of organic substances in the film.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-102040

(43)公開日 平成5年(1993)4月23日

(51)Int.Cl.*

H01L 21/205

識別記号

庁内整理番号

F1

技術表示場所

7454-4M

審査請求 実請求 請求項の数6(全10頁)

(21)出願番号

特願平3-265533

(22)出願日

平成3年(1991)10月7日

(71)出願人 000219067

東京エレクトロン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番1号

(71)出願人 591077070

堀池 靖浩

広島県広島市東区光ヶ丘10-7-003

(72)発明者 堀池 靖浩

広島県広島市東区光ヶ丘10-7-003

(72)発明者 川村 剛平

山梨県韭崎町御坂町三ツ沢650 東京エ

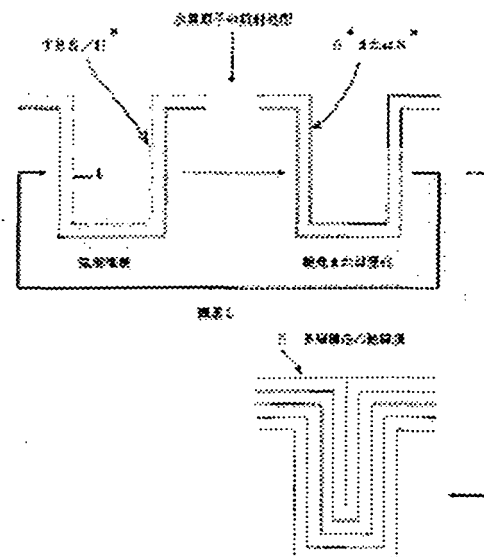
レクトロン株式会社内

(74)代理人 弁理士 大井 正彦

【要約】発明の名称】 成膜方法

【目的】 膜中の有機物を効率的に除去することができる成膜方法を提供することにある。

【構成】 有機物が残存する膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする。また、有機シランガスを含む原料ガスを用いてCVD法によりアスペクト比の高いドレンチ構造の表面に均一なシリコン膜を形成し、このシリコン膜に水素原子を照射して当該シリコン膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】有機物が残存する膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする成膜方法。

【請求項2】請求項1に記載の膜が半導体膜であることを特徴とする成膜方法。

【請求項3】有機シランガスを含む原料ガスを用いてCVD法によりアスペクト比の高いトレンチ構造の表面に均一なシリコン膜を形成し、このシリコン膜に水素原子を照射して当該シリコン膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする成膜方法。

【請求項4】半導体基板上に導電層が設けられて形成されたトレンチ構造の表面に、CVD法により形成したシリコン膜に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、CVD法により形成したシリコン膜に窒素原子を反応させてシリコン窒化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する成膜方法において、前記各プロセスにおいて、酸素原子または窒素原子を反応させる前に、シリコン膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする成膜方法。

【請求項5】請求項4の成膜方法において、CVD法に用いる原料ガスが、トリエチルシラン、モノエチルシラン、ジエチルシラン、トリメチルシラン、モノメチルシラン、ジメチルシランから選択される有機シランガスを含むことを特徴とする成膜方法。

【請求項6】請求項1から5のいずれか一に記載の成膜方法において、水素原子を照射する際に膜を加熱することを特徴とする成膜方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、成膜方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、半導体デバイスの製造プロセスにおいては、半導体デバイスの集積化（3次元構造化）に伴い、図12に示すように、導電層2により構成されるアスペクト比（縦の長さA/横の長さB）の大きなトレンチ構造の表面に対して絶縁膜（層間絶縁膜）3を適正に埋め込むことが重要な課題となっている。この絶縁膜3を例えばCVD法により形成する場合には、従来では、例えばシラン（ SiH_4 ）と水素原子（ H ）の混合ガス（ SiH_4/H ）を原料ガスとして用いてトレンチ構造の表面にシリコン膜を増殖させ、次いでこのシリコン膜を酸化することによって形成されている。

【0003】しかし、アスペクト比（ A/B ）が大きくなると、 SiH_4/H では膜の流動性が低いため、段差被覆部の堆積量が均一（コンフォーマル）にならず、ボイドが形成され、図12の矢印で示すように導電層2、2間でブレークダウンを起こす原因となっている。

このような事情から、テトラエチルオルソシリケート（ $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$; TEOS（テオス））とオゾン（ O_3 ）の混合ガス（ TEOS/O_3 ）を原料ガスとして用いてコンフォーマルな絶縁膜3を形成し得るCVD法の研究が行われている。この TEOS/O_3 を用いた反応では、シリコン膜の流動性が高いために、段差被覆部をコンフォーマルに埋め込むことができる。

【0004】しかし、TEOS分子中には酸素原子の結合が存在するため、シリコン酸化膜（ SiO_2 ）以外の絶縁膜を形成することは困難である。また、TEOSの分子構造に由来する有機物やOH基が膜中に取り込まれることによって、シリコン酸化膜をトレンチ構造の溝内に埋め込んだときには、さらにその絶縁性を低下させる可能性も大きい。また、TEOSと O_3 の反応による分解生成物がパーティクルとなって、コンタミネーションの原因ともなっている。このような観点から、絶縁性が高く、しかも段差被覆部をコンフォーマルに埋め込むことのできる絶縁膜が要求されるに至っている。その点、シリコン窒化膜は、絶縁性がシリコン酸化膜よりも高く、また、水分やアルカリイオンに対するブロック効果の高い物性を示す点で好ましいものである。

【0005】そこで、本発明者は、鋭意研究を重ねたところ、TES（トリエチルシラン）を含む原料ガスを用いたCVD法によれば、上記条件を満たす絶縁膜の形成が可能であることを見出した。すなわち、このTESは、酸素フリーな分子構造であるため、シリコン膜の堆積後、これを酸化または窒化することによってシリコン酸化膜やシリコン窒化膜の膜厚を自在にコントロールしながら多層構造の絶縁膜を形成することができる。なお、シリコン窒化膜のほかはシリコン酸化膜を組合せて多層構造とするのは、シリコン窒化膜が脆いため、その応力歪をシリコン酸化膜により緩和するためである。また、TESを含む原料ガスによれば、トレンチ構造の表面に流動性の高い重合膜となって段差被覆部へコンフォーマルに堆積することが、本発明者の実験により確認されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、本発明者のその後の研究によれば、CVD法において、TESを含む原料ガスを用いた場合においても、なお問題のあることが判明した。すなわち、トレンチ構造の表面における原料ガスの反応の際には、原料ガス中の水素結合はマイクロ波放電等で供給される水素原子（ H ）と反応して除去されるが、形成されたシリコン膜中には、TESを用いた場合と同様に有機物が取り込まれ、シリコン膜を酸化または窒化するプロセスの後にも膜中に有機物が残留し、そのため従来の熱酸化膜と同等の絶縁性が得られず、また、ランダムな組成により緻密な堆積膜が得られない問題がある。

【0007】そこで、本発明の第1目的は、膜中の有機

物を効率的に除去することができる成膜方法を提供することにある。本発明の第2目的は、有機シランガスを含む原料ガスを用いてCVD法によりアスペクト比の高いトレンチ構造の表面に均一なシリコン膜を形成する際に、シリコン膜の有機物を効率的に除去することができる成膜方法を提供することにある。本発明の第3目的は、半導体基板上に導電層が設けられて形成されたトレンチ構造の表面に、CVD法により形成したシリコン薄膜に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、CVD法により形成したシリコン薄膜に窒素原子を反応させてシリコン窒化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する成膜方法において、シリコン膜中の有機物を効率的に除去することができる成膜方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】以上の目的を達成するため、本発明の成膜方法は、それぞれ以下の特徴を有する。

(1) 有機物が残存する膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする。

(2) 上記膜が半導体膜であることを特徴とする。

(3) 有機シランガスを含む原料ガスを用いて、CVD法により、アスペクト比の高いトレンチ構造の表面に均一なシリコン膜を形成し、このシリコン膜に水素原子を照射して当該シリコン膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする。

(4) 半導体基板上に導電層が設けられて形成されたトレンチ構造の表面に、CVD法により形成したシリコン薄膜に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、CVD法により形成したシリコン薄膜に窒素原子を反応させてシリコン窒化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する成膜方法において、前記各プロセスにおいて、酸素原子または窒素原子を反応させる前に、シリコン薄膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うことを特徴とする。

(5) 上記(4)の成膜方法において、CVD法に用いる原料ガスが、トリエチルシラン、モノエチルシラン、ジエチルシラン、トリメチルシラン、モノメチルシラン、ジメチルシランから選択される有機シランガスを含むことを特徴とする。

(6) 上記(1)から(5)のいずれかにおいて、水素原子を照射する際に膜を加熱することを特徴とする。

【0009】

【作用】本発明の成膜方法においては、有機物が残存する膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行うので、絶縁性が高く緻密な膜を形成することができる。また、有機シランガスを含む原料ガスを用いてCVD法によりアスペクト比の高いトレンチ構造の表

面に均一なシリコン膜を形成する場合には、絶縁性が高く緻密な膜を形成することができる。特に、半導体基板上に導電層が設けられて形成されたトレンチ構造の表面に、CVD法により形成したシリコン薄膜に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、CVD法により形成したシリコン薄膜に窒素原子を反応させてシリコン窒化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する場合には、絶縁性が高く緻密な膜を形成することができる。

【0010】以下、本発明を具体的に説明する。図1は、基板としてのシリコン半導体ウエハ（以下単に「ウエハ」という。）1上に、例えばアルミニウムからなる導電層2が設けられて、トレンチ構造の表面が形成されている状態を示す。

【0011】導電層2の厚さ（縦の長さA）は、例えば0.4～0.6 μm である。また、導電層2、2間の距離（層間絶縁膜の幅）Bは、最近の高密度化に対応べく、例えば0.2～0.3 μm と非常に短くなる傾向にある。従って、アスペクト比（A/B）は、1以上と比較的大きくなる。

【0012】本発明においては、まず、このようなトレンチ構造の表面に、例えば有機シランガスを含む原料ガスを用いて、例えばCVD法により、均一なシリコン膜を形成する。原料ガスを構成する有機シランガスとしては、トリエチルシラン（TES）、モノエチルシラン、ジエチルシラン、トリメチルシラン、モノメチルシラン、ジメチルシランから適宜選択して用いることが好ましい。

【0013】原料ガスとしては、特に、TESと水素原子（H）の混合ガス（TES/H）が好ましく用いられる。TESは、酸素フリーな分子構造であるため、シリコン膜の堆積後、これを酸化または窒化することによってシリコン酸化膜やシリコン窒化膜の多層構造からなる絶縁膜を形成することができ、しかも各膜の膜厚のコントロールも相当大きな自由度で行うことができる。また、TESを含む原料ガスによれば、トレンチ構造の表面に流動性の高い重合膜となって段差被覆部へコンフォーマルに堆積するようになる。水素原子（H）は、例えば水素ガス（H₂）をマイクロ波放電させて得ることができる。

【0014】トレンチ構造の表面における原料ガスの反応によって、図2に示すように、シリコン膜4が堆積する。このシリコン膜4の厚さは、例えば5Aである。しかし、このシリコン膜4中には、TESに含まれている有機物が取り込まれている。従って、次に、このシリコン膜4に対して、例えばマイクロ波放電等によって生成した水素原子を、例えば室温下で照射し、当該シリコン膜4中の有機物を除去する処理を行う。水素原子の照射に際しては、シリコン膜4の形状を損なわずに膜中の有

機物を除去することが要求される。従って、水素原子をダウンストリームでシリコン膜4に輸送して反応させるのが好ましい。

【0015】水素原子の照射によって、シリコン膜4中に取り込まれていたメチル基やエチル基が水素原子と反応して、メタンやエタン等となってシリコン膜4外に離脱して除去される。この作用効果は、本発明者によるin-situ FTIR (Fourier Transform Infrared) -ATR (Attenuated Total Reflection) 法による研究結果により確認されている。すなわち、図3は、水素原子の照射処理によって有機物が除去されることを表付けるデータであり、縦軸は、水素原子の照射処理前後のシリコン膜表面の赤外光吸収スペクトルの差分を示している。この図3のデータによれば、メチル基(-CH₃)およびエチル基(-C₂H₅)が除去されていることが明らかである。従って、カーボン(C)汚染の少ないシリコン膜を形成することができる。

【0016】以上のようにしてシリコン膜を形成した後、図4に示すように、シリコン膜4に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、上記と同様にしてCVD法により形成したシリコン膜4に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する際に、前記各プロセスにおいて、酸素原子または酸素原子を反応させる前に、シリコン膜に水素原子を照射して当該膜中の有機物を除去する処理を行う。このような水素原子の照射処理を行うことにより、絶縁膜を構成する各層のカーボン汚染を確実に防止することができ、絶縁性が高く緻密な多層構造の絶縁膜を形成することができる。

【0017】図5において、実線は、水素原子の照射時間とシリコン酸化膜のエッチング速度との関係を示すものであり、水素原子の照射時間の経過とともにシリコン酸化膜のエッチング速度が小さくなっており、これは水素原子の照射によってより緻密な構造のシリコン酸化膜が得られたことを示している。なお、図5において、破線は従来の成膜方法により得られた熱酸化膜のエッチング速度を示すが、本発明の成膜方法により得られたシリコン酸化膜は、従来の熱酸化膜と比べても遜色のない緻密さを有していることがわかる。

【0018】図6は、TES/Hを用いて250℃でCVD法によりシリコン膜を形成した後、25秒間をわたり水素原子の照射処理を行い、次いで室温で酸素原子と反応させて得られたシリコン酸化膜のC-V (容量-電圧) 特性を示すものであり、このデータから、水素原子の照射処理を行うことにより、シリコン酸化膜中の固定電荷が低減されることが分かる。図7は、TES/Hを用いて250℃でCVD法によりシリコン膜を形成した後、室温で酸素原子と反応させて得られたシリコン酸化

膜のC-V特性を示すものであり、図8は、TES/Hを用いてCVD法により250℃でシリコン膜を形成した後、酸素原子と反応させ、800℃の高温で加熱して得られたシリコン酸化膜のC-V特性を示すものである。これらの図7および図8から明らかなように、水素原子の照射処理を行わない場合には、ヒステリシスが生じ、シリコン酸化膜中に固定電荷が残存することが分かる。

【0019】図9は、図6、図7、図8にそれぞれ対応するシリコン酸化膜の絶縁破壊の割合とそのときの電界強度との関係を示すものであり、水素原子の照射処理をしたシリコン酸化膜では、ブレークダウン電圧が高い方にシフトしていることが明らかである。なお、以上のデータは、水素原子の照射処理を、ウエハの温度が室温となる状態で行った場合のものであるが、水素原子の照射処理の際に、ウエハを加熱する場合の処理を行ってもよい。この場合のウエハの加熱温度は、例えば350℃である。

【0020】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。図10は、CVD装置の概略図である。真空チャンバー11には、有機ガス導入口12と、アルミナ管内でマイクロ波(2.45GHz)放電によって生成した水素(H)、酸素(O)あるいは窒素(N)等のラジカル等を含む原子を導入するガス導入口13が設けられている。これらの原子は、例えばH₂、O₂、NH₃等をマイクロ波放電することにより得られる。

【0021】有機ガス導入口12およびガス導入口13は、ガスや原子がウエハ14に十分に照射されるように、ウエハ14の表面に対して導入口の方向が例えば45°の角度となるように傾斜させて設置してある。また、これらの導入口とウエハ14との間隔距離は、ウエハ14のサイズによっても異なるが、ウエハ14の全面に均一に照射できるように距離とされる。ウエハ14は、例えば真空チャックなどの手段により固定されており、また、有機ガスや原子がウエハ14に均一に照射されるようにウエハ14がその面内で回転できるような構造になっている。15はウエハ14の加熱手段であり、CVD法によるプロセスの遂行中において、必要に応じてウエハ14を加熱できるようになっている。

【0022】かかる構成のCVD装置を用いて、以下のようにして成膜処理を行う。まず、真空チャンバー11を、ターボ分子ポンプなどを用いて、真空度が1.0×10⁻⁶Torr以下となるまで真空引きする。続いて、その表面に導電層によるトレンチ構造が形成されたウエハ14を、加熱手段15により例えば250℃に加熱しながら、有機ガス導入口12からTESを導入するとともに、ガス導入口13から導入した水素ガス(H₂)をマイクロ波(2.45GHz)放電によって水素原子としたうえで、これらをウエハ14のトレンチ構造の表面

において反応させる。真空チャンパー11内の全圧は、例えば1 Torrとし、TESおよびH₂ガスの導入比は4:6とした。

【0023】この状態を、例えば10秒間にわたり継続し、ウエハ14のトレンチ構造の表面にシリコン膜を堆積させた。なお、マイクロ波放電によって生成した水素原子が、ウエハの表面でTES分子中のSi-H結合を引き離し、重合膜を形成していることは、本発明者の実験で確認できている。同時に、メチル基やエチル基などの有機物も一部脱離し、このような反応により、適度な流動性をもった重合膜がウエハ14の表面を流れ、トレンチ構造の溝内にコンフォーマルに埋め込まれていることも確認できている。

【0024】次に、TESおよび水素ガスの導入を止め、真空チャンパー11内の真空度を 1.0×10^{-6} Torr以下に調整した後、ガス導入口13から水素ガス(H₂)を導入してこれをマイクロ波(2.45 GHz)放電によって水素原子とし、この水素原子をウエハ14のトレンチ構造の表面においてシリコン膜と反応させた。水素原子の照射処理時間は60秒間とし、導入した水素ガス(H₂)の分圧は1 Torrとした。また、水素原子の照射処理中のウエハ14の温度は室温とした。この結果、シリコン膜中の有機物は、水素原子と反応し、例えばメタンやエタンとなって気相中へ脱離していく。従って、シリコン膜の形状は均一のまま、膜中の不要な有機物が除去される。しかも、シリコン膜中には、Si-Si結合が増え、より緻密な膜が形成できる。なお、水素原子を照射する際には、ウエハ14を加熱手段15により室温以上に加熱してもよい。

【0025】次に、ガス導入口13から酸素ガス(O₂)を導入してこれをマイクロ波(2.45 GHz)放電によって酸素原子とし、この酸素原子をウエハ14のトレンチ構造の表面においてシリコン膜と反応させて、シリコン酸化膜を形成した。酸素原子の照射処理時間は10秒間とし、導入した酸素ガス(O₂)の分圧は1 Torrとした。このようにしてシリコン酸化膜を形成した後、このシリコン酸化膜の上に上記と同様にしてシリコン膜を形成し、上記と同様にして水素原子の照射処理を行い、さらに、ガス導入口13からアンモニアガス(NH₃)を導入してこれをマイクロ波(2.45 GHz)放電によって窒素原子とし、この窒素原子を表面のシリコン膜と反応させてシリコン窒化膜を形成した。窒素原子の照射処理時間は10秒間とし、導入したアンモニアガス(NH₃)の分圧は1 Torrとした。

【0026】続いて、上記と同様にして、TES/Hを用いたCVDプロセス、水素原子の照射処理、酸化プロセスまたは窒化プロセスを繰返し、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の多層構造からなる絶縁膜をトレンチ構造の溝内にコンフォーマルに埋め込んで、層間絶縁膜を形成した。図11は、以上のプロセスのシーケンスを示す

ものである。

【0027】このような実施例によれば、シリコン膜の形成後、水素原子の照射処理を付加し、その後シリコン酸化膜またはシリコン窒化膜の形成を行うので、従来のように水素原子の照射処理を行わずに、シリコン膜の形成後、直接、酸化処理または窒化処理を行う場合に比べて、膜質の格段に良好な絶縁膜を形成することができ

る。

【0028】なお、TESの代わりに、モノエチルシラン、ジエチルシラン、トリメチルシラン、モノメチルシラン、ジメチルシランなどの有機シランガスを用いて、上記と同様にして絶縁膜を形成したところ、TESを用いた場合と同様に膜質の良好な絶縁膜が得られた。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の成膜方法によれば、以下の作用効果が奏される。

- (1) 膜中の有機物を効率的に除去することができる。
- (2) 有機シランガスを含む原料ガスを用いてCVD法によりアスペクト比の高いトレンチ構造の表面に均一なシリコン膜を形成する際に、シリコン膜中の有機物を効率的に除去することができる。
- (3) 半導体基板上に導電層が設けられて形成されたトレンチ構造の表面に、CVD法により形成したシリコン膜上に酸素原子を反応させてシリコン酸化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスと、CVD法により形成したシリコン膜上に窒素原子を反応させてシリコン窒化膜からなる絶縁膜を形成するプロセスとを交互に繰返して多層構造の絶縁膜を形成する成膜方法において、シリコン膜中の有機物を効率的に除去することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】トレンチ構造の表面の説明図である。
- 【図2】トレンチ構造の表面にシリコン膜が堆積した状態を示す説明図である。
- 【図3】水素原子の照射処理前後のシリコン膜表面の赤外吸収スペクトルの差分を示すグラフである。
- 【図4】多層構造の絶縁膜を形成する場合のプロセスの説明図である。
- 【図5】水素原子の照射時間とシリコン酸化膜のエッチング速度との関係を示すグラフである。
- 【図6】水素原子の照射処理を行ったシリコン酸化膜のC-V特性図である。
- 【図7】シリコン膜を形成した後水素原子の照射処理を行わずに、室温で酸化して得られたシリコン酸化膜のC-V特性図である。
- 【図8】シリコン膜を形成した後水素原子の照射処理を行わずに、酸化し、さらに800℃で熱処理して得られたシリコン酸化膜のC-V特性図である。
- 【図9】図6、図7、図8にそれぞれ対応するシリコン酸化膜の絶縁膜の割合とそのときの電界強度との関係を示すグラフである。

【図10】実施例で用いたCVD装置の説明図である。
 【図11】実施例のプロセスのシーケンスを示す説明図である。

【図12】層間絶縁膜の説明図である。

【符号の説明】

1 シリコン半導体ウエハ 2 導電層
 3 絶縁膜 4 シリコン

膜

5 多層構造の絶縁膜

11 真空チャンバー

12 有機ガス導入口

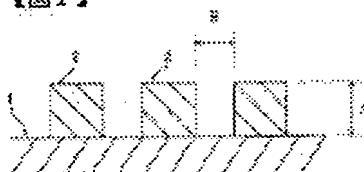
13 ガス導入口

口

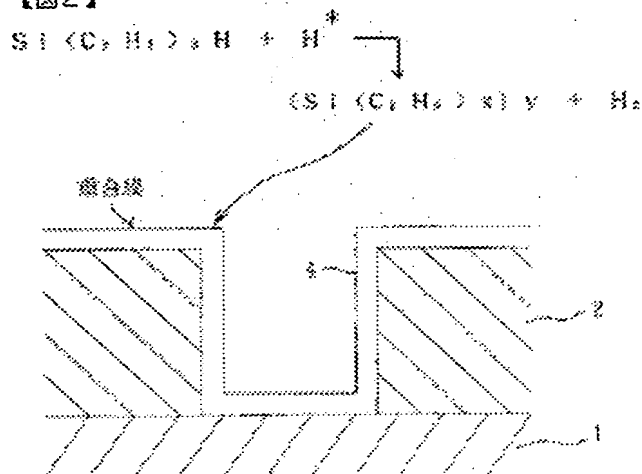
14 ウエハ

15 加熱手段

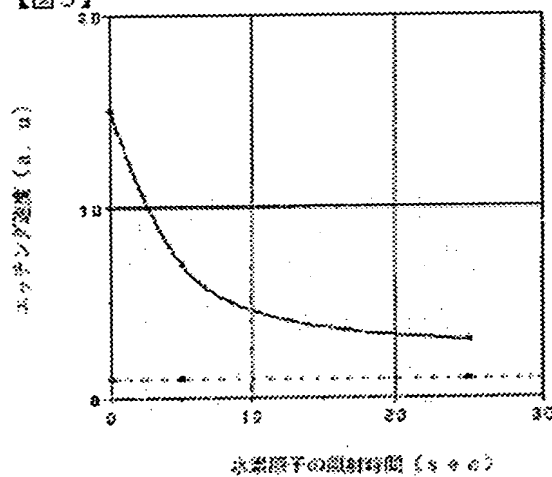
【図1】



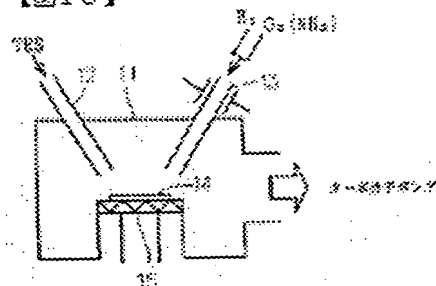
【図2】



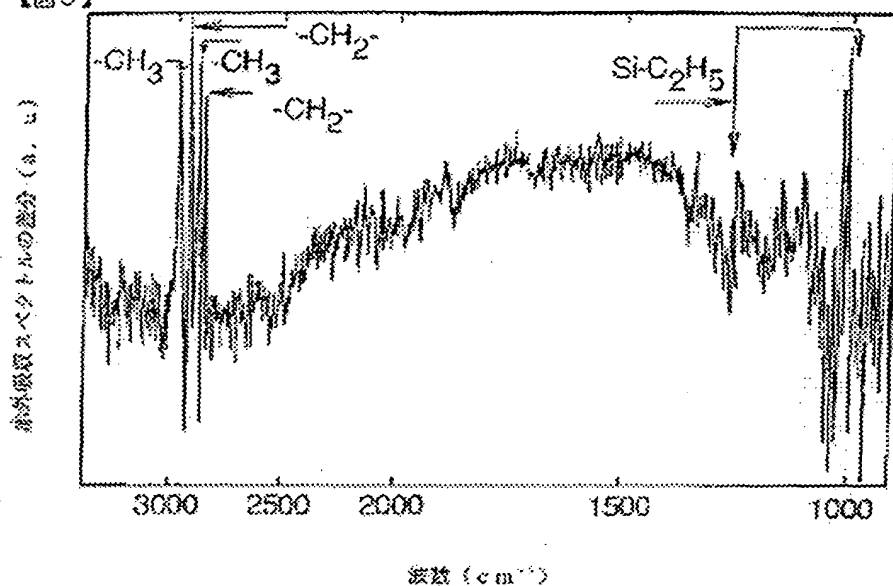
【図5】



【図10】



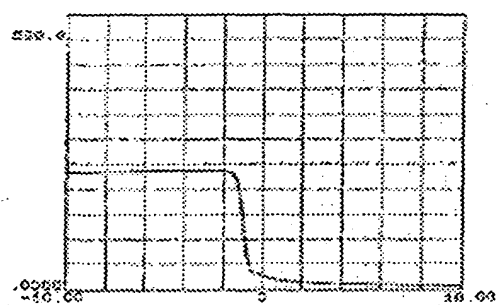
【図9】



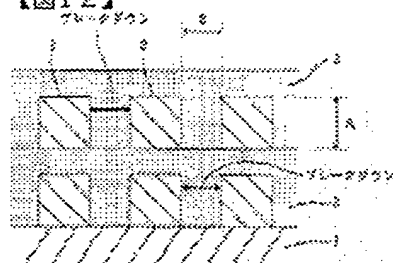
【図10】

シリコン結晶表面に水素原子で処理した表面で観測した
(7E8)H-H・(3E8)H-H

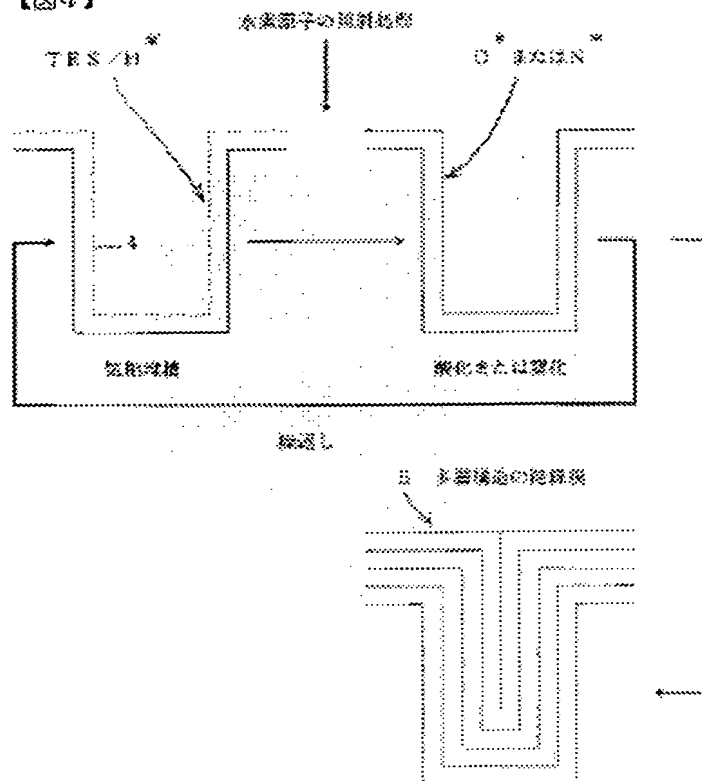
電圧 (V)



【図12】



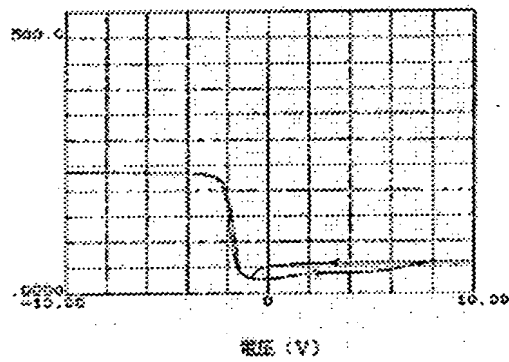
【図4】



【図8】

シリコン膜を除去した通電回路で測定
(TES/H⁺ → O⁺ → Z⁺ (250°C))

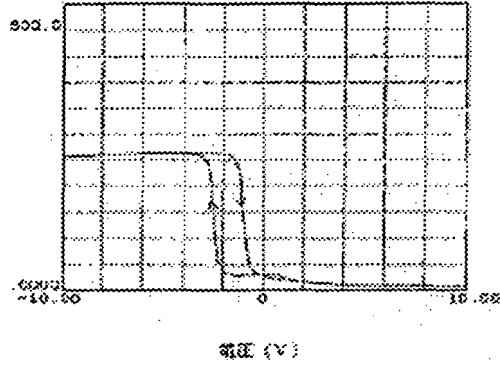
容量 (pF)



【図7】

シリコン膜を室温で酸化
(TES/H \rightarrow O)

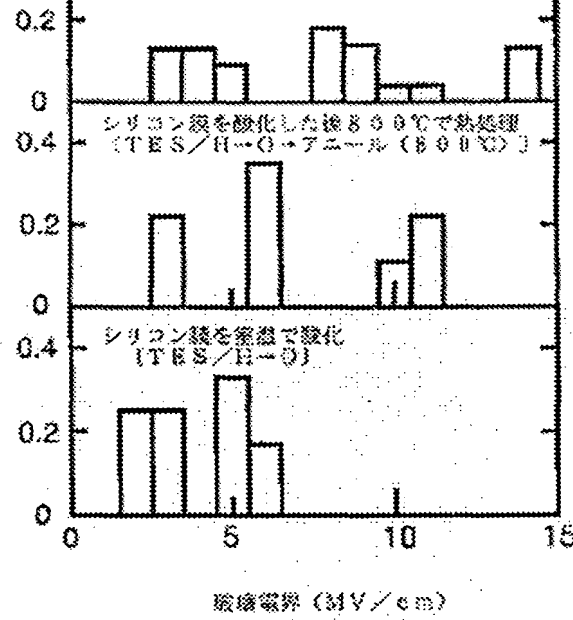
電圧 (V)



【図8】

シリコン膜を水素原子で処理した後室温で酸化
(TES/H \rightarrow H \rightarrow O (2.5 s) \rightarrow O)

電圧の割合



【図11】

